

BRUCHMECHANISCHER FESTIGKEITSNACHWEIS FÜR MASCHINENBAUTEILE

4. Ausgabe, 2018

FKM-Richtlinie**Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis für
Maschinenbauteile**

4. Ausgabe, Stand 2018

Inhalt	Seite	2.3	Werkstoffzustand	31
0 Allgemeines	9	2.3.1	Allgemeines	31
		2.3.2	Mechanisch-technologische Eigenschaften	31
0.1 Zielsetzung und Anwendungsbereich	9	2.3.2.1	Kenngrößen	31
0.2 Referenzdokumente	9	2.3.2.2	Einflussfaktoren	32
0.3 Aufgabenstellung und Lösungsweg	9	2.3.2.3	Experimentelle Bestimmung	32
0.4 Zusammenfassung, Arbeitsschritte	11	2.3.3	Bruchmechanische Eigenschaften bei statischer Beanspruchung	33
		2.3.3.1	Kenngrößen	33
1 Grundlagen und Konzept	15	2.3.3.2	Einflussfaktoren	34
1.0 Übersicht, Allgemeines	15	2.3.3.3	Experimentelle Bestimmung	35
1.1 Auswirkung von Fehlern auf die Bauteilstfestigkeit	15	2.3.4	Bruchmechanische Eigenschaften bei zyklischer Beanspruchung	36
1.2 Grenzzustände	16	2.3.4.1	Kenngrößen	36
1.3 Bruchmechanische Konzepte	16	2.3.4.2	Einflussfaktoren	38
1.3.1 Allgemeines	16	2.3.4.3	Experimentelle Bestimmung	38
1.3.2 Linear-elastische Bruchmechanik	17	2.3.5	Streuung der Werkstoffkennwerte	39
1.3.3 Elastisch-plastische Bruchmechanik	17	3 Modellbildung		41
1.3.4 Bewertungsdiagramme bei statischer Beanspruchung	18	3.0 Übersicht, Arbeitsschritte		41
1.3.5 Zyklische Beanspruchung	19	3.1 Rissmodell		42
1.4 Fehlerbewertungskonzept dieser Richtlinie	19	3.1.1	Allgemeines	42
		3.1.2	Umsetzung von ZfP-Anzeigen in Fehlerabmessungen	42
2 Eingangsgrößen	21	3.1.3	Fehlerorientierung	44
2.0 Übersicht, Arbeitsschritte	21	3.1.4	Fehlerform	44
2.1 Fehlerzustand	22	3.1.5	Wechselwirkungen mehrerer Fehler	46
2.1.1 Allgemeines	22	3.2 Strukturmodell		49
2.1.2 Fehlerbeschreibung	23	3.2.1	Allgemeines	49
2.1.3 Fehlererkennung und –messung	23	3.2.2	Vereinfachung der Geometrie	49
2.1.3.1 Zerstörungsfreie Prüfverfahren	23	3.2.3	Vereinfachung der Beanspruchung	50
2.1.3.2 Fehlererkennbarkeit	23	3.3 Beanspruchungsparameter		52
2.1.3.3 Prüfnormen	24	3.3.1	Allgemeines	52
2.1.4 Fertigungsqualität	24	3.3.2	Spannungsintensitätsfaktor	52
2.2 Beanspruchungszustand	25	3.3.2.1	Definition und Anwendung	52
2.2.1 Allgemeines	25	3.3.2.2	Berechnung	52
2.2.2 Statische Beanspruchung	25	3.3.3	Beanspruchungsparameter J und δ	53
2.2.3 Zyklische Beanspruchung	26	3.3.4	T -Stress und Q -Faktor	54
2.2.3.1 Konstante Schwingbreite	26	3.3.4.1	Definition und Anwendung	54
2.2.3.2 Variable Schwingbreite	27	3.3.4.2	Berechnung	54
2.2.3.3 Berücksichtigung von Eigenspannungen	28	3.3.5	FAD-Parameter K_r	54
2.2.3.4 Berücksichtigung von Reihenfolgeeinflüssen	28	3.3.5.1	Definition und Anwendung	54
		3.3.5.2	Berechnung	54
		3.3.6	Plastifizierungsgrad L_r	55
		3.3.6.1	Definition und Anwendung	55

3.3.6.2	Berechnung	55	4.3.3	Berechnung bei statischer Beanspruchung	78
3.4	Werkstoffkennwerte	56	4.3.4	Berechnung bei zyklischer Beanspruchung	78
3.4.1	Allgemeines	56	4.3.5	Empfehlungen aus anderen Regelwerken	79
3.4.2	Mechanisch-technologische Kennwerte	57			
3.4.3	Bruchmechanische Kennwerte bei statischer Beanspruchung	59	4.4	Berücksichtigung von dynamischer Beanspruchung	80
3.4.3.1	Direkte Ermittlung aus Versuchswerten	59	4.4.1	Allgemeines	80
3.4.3.2	Abschätzung aus der verbrauchten Schlagenergie	60	4.4.2	Modellbildung	80
3.4.3.3	Weitere Abschätzungen der Risszähigkeit	61	4.4.2.1	Rissmodell	80
3.4.4	Bruchmechanische Kennwerte bei zyklischer Beanspruchung	62	4.4.2.2	Strukturmodell	80
4	Berechnungen	63	4.4.2.3	Beanspruchungsparameter	80
4.0	Übersicht, Arbeitsschritte	63	4.4.2.4	Werkstoffkennwerte	80
4.1	Berechnung bei statischer Beanspruchung	64	4.4.3	Bewertung bei dynamischer Beanspruchung	82
4.1.1	Allgemeines	64	4.5	Berücksichtigung von Spannungsrißkorrosion	83
4.1.2	FAD-Konzept	64	4.5.1	Allgemeines	83
4.1.2.1	Bestimmung der Versagensbedingungen für den Grenzzustand Rissinitiierung	65	4.5.2	Modellbildung	84
4.1.2.2	Bestimmung der Versagensbedingungen für den Grenzzustand Rissinstabilität	65	4.5.2.1	Rissmodell	84
4.1.2.3	Qualität der Eingabedaten	65	4.5.2.2	Strukturmodell	84
4.1.3	Grenzkurven	66	4.5.2.3	Beanspruchungsparameter	84
4.1.3.1	Allgemeines	66	4.5.2.4	Werkstoffkennwerte	84
4.1.3.2	Basis-Ebene	66	4.5.3	Berechnung bei statischer Beanspruchung	85
4.1.3.3	Erweiterungs-Ebene	67	4.6	Probabilistische Berechnung	86
4.1.4	Ermittlung des FAD-Parameters K_r	67	4.6.1	Allgemeines	86
4.1.4.1	Ermittlung des Interaktionsparameters V	67	4.6.2	Fehlerzustand	86
4.1.4.2	Ermittlung des plastisch korrigierten SIF K_{Js}	69	4.6.3	Beanspruchungszustand	88
4.1.5	Ermittlung des FAD-Parameters L_r	69	4.6.4	Werkstoffzustand	88
4.1.6	Ermittlung der Constraint-Korrektur	69	4.6.5	Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit	88
4.1.6.1	Allgemeine Hinweise	69	5	Nachweis	90
4.1.6.2	Berechnungen	69	5.0	Übersicht, Arbeitsschritte	90
4.2	Berechnung bei zyklischer Beanspruchung	70	5.1	Reservefaktoren	91
4.2.1	Allgemeines	70	5.2	Sensitivitätsanalyse	91
4.2.2	Berechnung im Rahmen der LEBM (ΔK)	71	5.3	Partielle Sicherheitsfaktoren auf statistischer Basis	92
4.2.2.1	Bruchmechanische Dauerfestigkeit	71	5.4	Probabilistischer Nachweis	93
4.2.2.2	Rissfortschritt	71	5.5	Zulässigkeitsbewertung	93
4.2.3	Berechnung im Rahmen der EPBM (ΔJ)	73	6	Anwendungsbeispiele	95
4.2.3.1	Besonderheiten	73	6.0	Übersicht	95
4.2.3.2	Bruchmechanische Dauerfestigkeit	73	6.1	Welle	96
4.2.3.3	Rissfortschritt	73	6.2	Geschweißte Platte	98
4.2.3.4	Bewertung von Bauteilen mit kurzen Rissen	73	6.3	Kastenprofil	102
4.3	Berücksichtigung von Mixed-Mode-Beanspruchung	75	6.4	Dünnwandige Schweißkonstruktion	106
4.3.1	Allgemeines	75	6.5	Spiralgeschweißtes Rohr I	110
4.3.2	Modellbildung	76	6.6	Turbinenwelle	114
4.3.2.1	Rissmodell	76	6.7	Antriebswelle	118
4.3.2.2	Strukturmodell	76	6.8	Gekerbte Scheibe	121
4.3.2.3	Beanspruchungsparameter	76			
4.3.2.4	Werkstoffkennwerte	78			

6.9	Rohre	127	7.4	Nachschlagetabellen zur Ermittlung der Constraint-Korrektur	331
6.10	Zugplatte mit Oberflächenriss	129	7.5	Zyklische J-Integrale	348
6.11	Rohr mit halbelliptischem Innenriss	133	7.5.1	Halbunendliche Scheibe unter konstanter Spannung mit halbkreisförmigem Oberflächenriss	348
6.12	Spiralgeschweißtes Rohr II	137	7.5.2	Scheibe unter konstanter Spannung mit Rissen in Kerben	349
7	Anhänge	141	7.6	Schweißeigenspannungen	350
7.0	Allgemeines	141	7.6.1	Allgemeines	350
7.1	Normen und Richtlinien zur ZfP	141	7.6.2	Einfache Abschätzung von Schweißeigenspannungen	350
7.2	Werkstoffdaten	143	7.6.3	Schweißeigenspannungsprofile	350
7.2.1	Normwerte	143	7.6.3.1	Allgemeines	350
7.2.2	Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei statischer Beanspruchung	157	7.6.3.2	Platte mit Stumpfnaht bzw. Rohr mit Längsnaht	351
7.2.3	Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei zyklischer Beanspruchung	175	7.6.3.3	Rohr mit Rundstumpfnaht	351
7.2.3.1	Empfehlungen aus anderen Regelwerken	175	7.6.3.4	T-Stoß, Plattenverbindung	352
7.2.3.2	Literaturoauswertung	177	7.6.3.5	T-Stoß, Rohrverbindung	352
7.2.4	Kennwerte bei Spannungsrißkorrosion	206	7.7	Festigkeitsmismatch in Schweißverbindungen	353
7.3	Spannungsintensitätsfaktoren, Grenzlasten, T-Stress	213	7.7.1	Allgemeine Anmerkungen zum Mismatch-Problem	353
7.3.1	Allgemeines	213	7.7.2	Bruchmechanische Behandlung	353
7.3.2	Scheibe	218	7.7.3	Modifizierte Grenzkurven für statische Beanspruchung	354
7.3.2.1	Scheibe unter Zug und Biegung	218	7.7.3.1	Allgemeines	354
7.3.2.2	Scheibe unter variabler Spannung	240	7.7.3.2	Basis-Ebene	355
7.3.3	Scheibe mit Bohrung	246	7.7.3.3	Erweiterungs-Ebene	357
7.3.4	Scheibe mit Kerbe unter konstanter Spannung	254	7.7.3.4	Weitere Aspekte der Bewertung von Mismatch-Verbindungen	357
7.3.5	Scheibe unter Mixed-Mode-Beanspruchung	268	7.8	Alternative Methoden zur Berücksichtigung von Sekundärspannungen	358
7.3.6	Vollzylinder	273	7.8.1	Interaktionsparameter ρ	358
7.3.6.1	Vollzylinder unter Zug, Biegung und Torsion	273	7.8.2	Interaktionsparameter V_g	359
7.3.6.2	Vollzylinder unter Zug und Biegung	275	7.9	Formelzeichen, Abkürzungen	362
7.3.7	Hohlzylinder	277	7.10	Umrechnungen	368
7.3.7.1	Hohlzylinder unter variabler Spannung mit axialen Rissen	277			
7.3.7.2	Hohlzylinder unter variabler Spannung mit azimutalen Rissen	291			
7.3.7.3	Hohlzylinder unter Innendruck mit axialen Rissen	309			
7.3.7.4	Hohlzylinder unter Innendruck und Biegung mit azimutalen Rissen	315			
7.3.8	Geschweißte Platten mit Oberflächenrissen unter Zug	320			
7.3.9	Schweißnaht mit Festigkeitsmismatch	325			